

Konsep Dasar Sifat Molekul

Gebi Dwiyanti



PENDAHULUAN

Dalam Modul 1 ini disajikan materi mengenai konsep dasar sifat molekul senyawa organik (senyawa karbon). Materi di atas terdiri dari materi sifat intramolekuler senyawa karbon dan materi zat antara serta jenis pereaksi dalam reaksi senyawa karbon. Uraian materi molekul ini disajikan dengan menggunakan pendekatan struktur senyawa karbon.

Sifat intramolekuler adalah sifat-sifat yang dimiliki senyawa karbon yang terdiri dari momen dipol, efek induksi, efek resonansi, efek sterik, serta efek hiperkonjugasi. Uraian yang disajikan tidak hanya mengenai konsep sifat intramolekuler tersebut tetapi lebih kepada penalaran tentang hubungan sifat intramolekuler tersebut dengan kestabilan/kereaktifan senyawa karbon. Dengan pemahaman hubungan di atas diharapkan mahasiswa dapat memprediksi reaksi-reaksi yang dapat terjadi pada suatu senyawa karbon (materi jenis reaksi akan dipelajari pada modul selanjutnya).

Pada reaksi senyawa karbon terjadi zat antara yang bermacam-macam, yaitu zat antara berupa ion karbonium, ion karbon serta zat antara berupa radikal bebas. Uraian mengenai zat antara ini terdiri dari pembentukan, struktur serta kestabilan zat antara tersebut.

Setelah mempelajari modul ini diharapkan Anda dapat:

1. memperkirakan harga momen dipol suatu isomer geometri;
2. menjelaskan hubungan kestabilan konformer dengan harga momen dipolnya;
3. memperkirakan harga momen dipol suatu konformer sikloheksana tersubstitusi;
4. memperkirakan harga momen dipol senyawa benzen tersubstitusi;
5. menjelaskan pengaruh efek induksi terhadap keasaman asam karboksilat;
6. menjelaskan pengaruh efek resonansi terhadap kestabilan senyawa;
7. menjelaskan pengaruh sterik terhadap kereaktifan senyawa;

8. menjelaskan hubungan hiperkonjugasi dengan kestabilan senyawa alkena;
9. menjelaskan terjadinya ion karbonium;
10. menjelaskan kestabilan ion karbonium;
11. menjelaskan terjadinya ion karbon;
12. menjelaskan terjadinya zat antara radikal bebas;
13. menjelaskan kestabilan zat antara radikal bebas;
14. memberi contoh pereaksi elektrofil;
15. memberi contoh pereaksi nukleofil.

Untuk memudahkan Anda mencapai tujuan pembelajaran di atas, pembahasan dalam modul ini dibagi dalam dua kegiatan belajar, yaitu Kegiatan Belajar 1 yang membahas tentang sifat intramolekuler senyawa karbon dan Kegiatan Belajar 2 membahas tentang zat antara dan pereaksi dalam reaksi organik.

Agar Anda dapat memahami konsep-konsep dalam Modul 1 ini, ikutilah petunjuk dalam mempelajari Modul 1 ini.

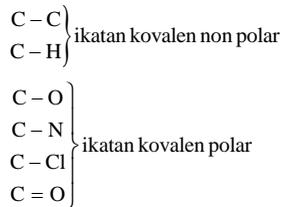
1. Pelajari dan pahami uraian dalam setiap kegiatan belajar.
2. Usahakan mengerjakan tugas atau menjawab pertanyaan yang ada dalam uraian.
3. Kerjakan setiap latihan yang diberikan pada akhir setiap kegiatan belajar. Sesuaikan jawaban Anda dengan jawaban yang diberikan dalam modul, yang penting Anda mengerti mengapa jawabannya seperti yang tercantum dalam kunci jawaban.
4. Rangkuman yang diberikan merupakan inti sari dari uraian. Bacalah rangkuman dengan seksama sehingga Anda akan mendapatkan inti sari uraian.
5. Kerjakan tes formatif yang disediakan, lalu ukurlah penguasaan Anda melalui hasil dari tes formatif. Penguasaan Anda ini dapat Anda gunakan untuk menentukan apakah dapat mempelajari kegiatan belajar berikutnya atau harus kembali mempelajari uraian/materi yang bersangkutan dengan tes formatif.

KEGIATAN BELAJAR 1

Sifat Intramolekuler Senyawa Karbon

A. MOMEN DIPOL

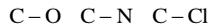
Pada umumnya ikatan antar atom dalam senyawa karbon adalah ikatan kovalen. Berdasarkan keelektronegatifan atom-atom yang berikatan, ikatan kovalen dalam senyawa karbon dapat berupa ikatan kovalen polar dan nonpolar.



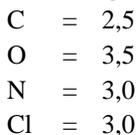
Gambar 1.1.
Contoh Ikatan Kovalen Non Polar dan Polar

Pada ikatan kovalen polar terjadi pemisahan muatan, atom dengan keelektronegatifan lebih besar akan relatif lebih negatif dan atom dengan keelektronegatifan lebih kecil akan relatif lebih positif.

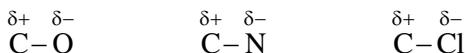
Dengan memperhatikan harga keelektronegatifan berikut, cobalah tentukan pemisahan muatan dalam ikatan-ikatan di bawah ini.



Harga keelektronegatifan beberapa unsur:

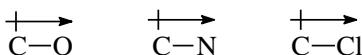


Berdasarkan keelektronegatifan di atas, maka pemisahan muatan pada ikatan di atas adalah:



Gambar 1.2.
Pemisahan Muatan pada Ikatan Kovalen Polar

Pemisahan muatan pada ikatan kovalen polar menyebabkan terjadinya momen ikatan pada ikatan kovalen polar tersebut, momen ikatan pada suatu ikatan kovalen polar digambarkan dengan anak panah dari ujung positif ke ujung negatif serta diberi garis vertikal pada awal anak panahnya.



Gambar 1.3.
Penggambanan Momen Ikatan

Momen ikatan tersebut mempunyai arah dan besaran (suatu vektor). Jumlah (*resultante*) momen ikatan dalam suatu molekul adalah besarnya momen dipol suatu molekul. Jadi, dengan mengetahui besarnya momen ikatan dan bentuk geometri suatu molekul, dapat dihitung momen dipol molekul tersebut. Sebaliknya dengan mengetahui arah momen ikatan dan besarnya momen dipol, dapat diprediksi bentuk geometri suatu molekul. Satuan untuk momen ikatan dan momen dipol adalah Debye (D). Tabel berikut menyajikan harga momen ikatan dari beberapa ikatan polar.

Tabel 1.1.
Harga momen ikatan

Ikatan	Momen Ikatan (D)
N - H	1,30
O - H	1,50
C - Cl	1,90
C - Br	1,80
C - O	1,20
C = O	2,70

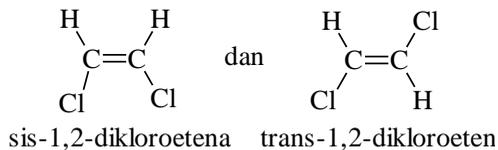
Harga momen dipol merupakan ukuran kepolaran suatu molekul/senyawa dan diberi lambang μ . Tabel berikut menyajikan beberapa harga momen dipol.

Tabel 1.2.
Harga momen dipol

Senyawa	Momen Dipol (D)
CH ₃ -CN	4,00
C ₆ H ₅ CN	4,39
CH ₃ NO ₂	3,68
CH ₃ OH	1,69
C ₆ H ₅ NO ₂	4,21
C ₆ H ₅ OH	1,40

Dari harga momen dalam tabel, coba Anda tentukan senyawa yang paling polar. Bagus, senyawa C₆H₅CN paling polar karena harga momen dipolnya paling besar.

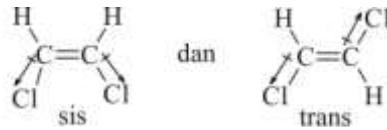
Isomer geometri dari 1,2-diklorotena adalah isomer cis dan trans dengan struktur sebagai berikut.



Gambar 1.4.
Struktur Isomer Geometri

Dengan menggambar anak panah untuk arah momen ikatan untuk ikatan C-Cl, Anda dapat memperkirakan harga momen dipol kedua isomer di atas. Apakah harga momen dipol isomer cis akan sama dengan harga momen dipol isomer trans? Atau akan berbeda?

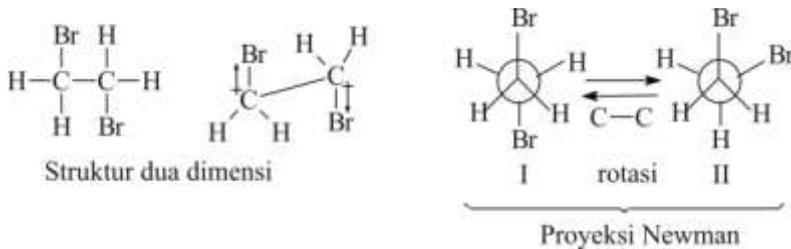
Pertama gambarkan anak panah untuk menyatakan arah momen ikatan C-Cl. Ikatan C – H tidak memiliki momen ikatan, karena perbedaan keelektronegatifan antara C dan H sangat kecil.



Gambar 1.5.
Momen Ikatan pada Isomer Geometri

Untuk memperkirakan harga momen dipol kedua isomer di atas, Anda harus menjumlahkan momen ikatan pada ikatan C – Cl. (perhatikan arah momen ikatan). Untuk isomer trans, arah momen ikatan C – Cl berlawanan, artinya besaran momennya akan saling meniadakan. Untuk isomer cis momen ikatannya akan mempunyai harga penjumlahan (*resultante*). Harga momen dipol untuk isomer cis sebesar 1,89 D dan untuk isomer trans sebesar 0 D (Eliel, 1962).

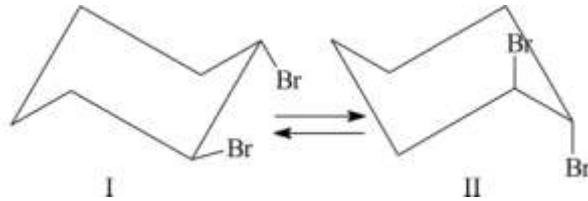
Senyawa alifatik dan alisiklik dapat membentuk konformasi yaitu struktur yang berbeda karena tatanan atom sekitar ikatan tunggal C-C-nya berbeda akibat rotasi ikatan tunggal C-C tersebut. Senyawa 1,2-dibromoetana dapat membentuk konformasi berikut.



Gambar 1.6.
Konformasi 1,2-dibromoetana

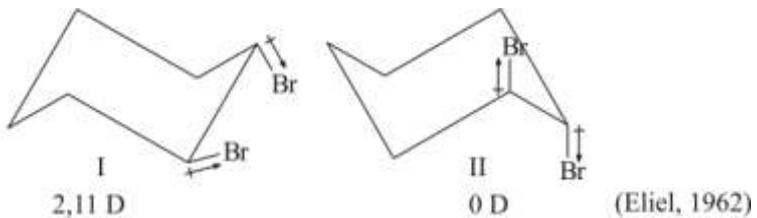
Struktur I dan II adalah konformasi dari 1,2-dibromoetana karena ikatan tunggal C-C nya berotasi. Konformasi lain dapat terjadi karena C-C dapat berotasi bebas. Dengan menuliskan arah momen ikatan C-Br, Anda dapat memprediksi harga momen dipol untuk masing-masing konformasi. Konformasi I harga momen dipolnya dapat nol karena arah momennya berlawanan sehingga besaran momennya saling meniadakan. Coba perkirakan harga momen dipol untuk konformasi II! Betul, harga momen dipolnya tidak akan nol, karena harga momen dipolnya akan merupakan

resultante (penjumlahan) harga momen ikatannya. Dari harga momen dipol keseluruhan dapat diketahui konformasi terbanyak/konformasi paling stabil dari senyawa tersebut. Contoh konformasi dari senyawa alisiklik adalah konformasi dari sikloheksana tersubstitusi. Misalnya 1,2-dibromosikloheksana.



Gambar 1.7.
Konformasi 1,2-dibromosikloheksana

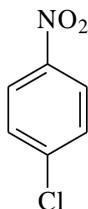
Dapatkah Anda memprediksi harga momen dipol kedua konformasi tersebut? Konformasi mana yang harga momen dipolnya tidak nol?



Gambar 1.8.
Momen Ikatan pada 1,2-dibromosikloheksana

Pada konformasi I harga momen dipolnya merupakan *resultante* (penjumlahan) momen ikatan. Sedangkan konformasi II harga momen dipolnya adalah nol, karena momen ikatannya saling meniadakan. Dari harga momen dipol keseluruhan dapat diketahui konformasi dalam jumlah terbanyak/paling stabil dari senyawa tersebut.

Perhatikan struktur senyawa benzena tersubstitusi berikut.

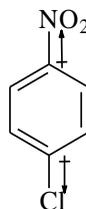


Gambar 1.9.
Struktur para-kloronitrobenzena

Bila harga momen ikatan C-Cl = 1,58 D dan C-NO₂ = 3,98 D. Perkirakan harga momen dipol para-kloronitrobenzena tersebut. Bagaimana menentukan momen ikatan pada senyawa para-kloronitrobenzena?

Perhatikan atom/substituen yang langsung terikat pada atom C benzena! N dan Cl adalah atom yang terikat pada atom C benzena. Keelektronegatifan N dan Cl lebih besar daripada keelektronegatifan C, maka arah momen ikatannya adalah dari C (benzena) ke arah N atau Cl.

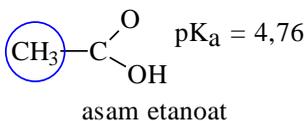
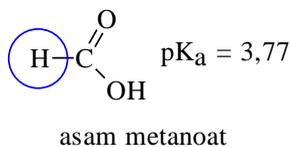
Arah momen ikatan berlawanan, harga momen dipolnya adalah hasil pengurangan harga momen ikatan C-NO₂ dengan C-Cl. Harga momen dipol para-kloronitrobenzena adalah 2,50 D.

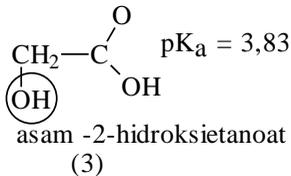
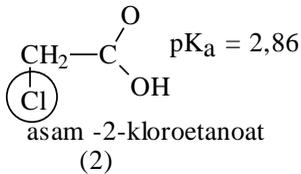
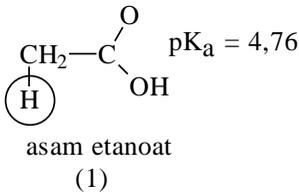


Gambar 1.10.
Momen ikatan pada
para-kloronitrobenzena

B. EFEK INDUKSI

Untuk mempelajari atau menentukan efek induksi suatu gugus/atom yang terikat pada senyawa karbon dilakukan pengkajian terhadap keasaman senyawa asam karboksilat baik berupa senyawa alifatik maupun senyawa aromatik. Perhatikan harga pK_a dua asam karboksilat berikut.



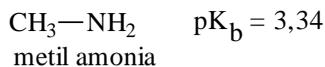
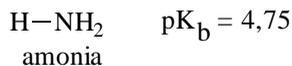


Kekuatan asam metanoat berbeda dengan kekuatan asam etanoat, asam metanoat lebih kuat. Jika dilihat dari struktur kedua asam di atas, dapat diperkirakan perbedaan kekuatan asam tersebut disebabkan oleh pengaruh gugus $-\text{CH}_3$. Dibandingkan asam metanoat, kekuatan asam etanoat lebih lemah. Gugus $-\text{CH}_3$ pada asam etanoat mempunyai kemampuan mendorong elektron ikatan melalui ikatan sigma (C-C-O-H) sehingga atom O menjadi relatif negatif, akibatnya atom H sukar lepas sebagai H^+ , asamnya menjadi lebih lemah. Gugus $-\text{CH}_3$ dikatakan mempunyai efek induksi mendorong elektron dan diberi simbol $+\text{I}$. Untuk efek induksi gugus/atom lain dapat dipelajari dari harga pK_a berikut.

Bagaimana kekuatan asam (2) dan (3) dibandingkan asam (1)? Asam (2) dan (3) lebih kuat dibandingkan asam (1), mengapa? Dilihat dari struktur ketiga asam di atas, tentunya perbedaan kekuatan asam tersebut dikarenakan adanya substituen $-\text{Cl}$ dan $-\text{OH}$ pada asam (2) dan asam (3).

Substituen $-\text{Cl}$ dan $-\text{OH}$ mempunyai kemampuan menarik elektron ikatan melalui ikatan sigma (C-C-O-H) sehingga atom O menjadi relatif positif, akibatnya atom H mudah dilepas sebagai H^+ dan asamnya menjadi lebih kuat. Gugus $-\text{OH}$ dan $-\text{Cl}$ dikatakan mempunyai efek induksi menarik elektron dan diberi simbol $-\text{I}$.

Efek induksi tidak hanya berpengaruh terhadap keasaman tetapi juga terhadap kebiasaan dan kereaktifan senyawa karbon. Kebiasaan amoniak dan metil amonia dapat berbeda karena adanya efek induksi dari gugus $-\text{CH}_3$.



Kekuatan basa dapat ditinjau dari kemampuan molekul/senyawa untuk mendonorkan pasangan elektron bebasnya. Dilihat dari kekuatan basanya, metil amina lebih kuat (pK_b -nya lebih kecil). Mengapa demikian? Tentunya karena pada metil amina terdapat gugus $-\text{CH}_3$. Gugus $-\text{CH}_3$ mempunyai efek induksi mendorong elektron sehingga pasangan elektron bebas pada atom N lebih mudah didonorkan. Akibatnya kebasaaan metil amina lebih kuat dibandingkan amonia.

Efek induksi terjadi karena adanya pergeseran elektron ikatan dalam molekul senyawa sehingga terjadi polarisasi ikatan dalam molekul tersebut.

$\text{CH}_3 - \text{CH}_3$ tidak terjadi polarisasi

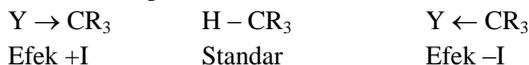
$\overset{\delta+}{\text{CH}_3} \rightarrow \overset{\delta-}{\text{Cl}}$ terjadi polarisasi

$\overset{\delta+}{\text{CH}_3} \rightarrow \overset{\delta+}{\text{CH}_2} \rightarrow \overset{\delta-}{\text{Cl}}$ terjadi polarisasi

(tanda panah menunjukkan arah pergeseran elektron)

Klor (Cl) lebih elektronegatif daripada C, maka elektron ikatan lebih tertarik ke Cl, sehingga terjadi polarisasi ikatan. Atom Cl menjadi relatif lebih negatif (δ^-) sedangkan atom C menjadi relatif positif (δ^+).

Suatu gugus/atom dikatakan mempunyai efek induksi positif (+I) bila mempunyai kemampuan menolak elektron lebih kuat daripada atom hidrogen dalam molekul yang sama. Sedangkan gugus/atom yang mempunyai kemampuan efek induksi negatif (-I) adalah gugus/atom yang lebih kuat menarik elektron dari pada atom H.



Dari uraian di atas dapat dibuat pengertian efek induksi.

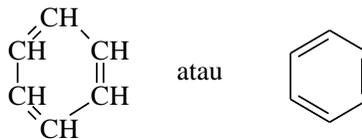
Efek induksi dapat diartikan sebagai *kemampuan suatu gugus/atom yang terikat dalam suatu molekul untuk menolak atau menarik elektron, dibandingkan dengan atom hidrogen dalam molekul yang sama sehingga terjadi polarisasi ikatan.*

Efek induksi bekerja melalui ruang dan ikatan sigma (σ) atau ikatan tunggal. Makin jauh letak gugus/atom yang memiliki efek induksi, makin kecil pengaruhnya terhadap polarisasi ikatan.

C. EFEK RESONANSI

Bila pergeseran elektron pada ikatan sigma menyebabkan efek induksi, maka pergeseran elektron pada ikatan pi (π) atau ikatan rangkap tentunya akan menyebabkan terjadinya efek yang lain lagi.

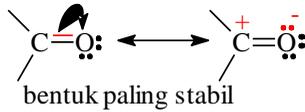
Perhatikan struktur benzena berikut.



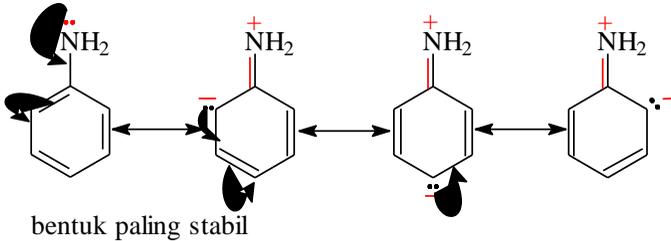
Gambar 1.11.
Struktur Benzena

Berapa macam ikatan antar atom C yang terdapat pada benzena? Pada struktur benzena terdapat ikatan antar C yang berupa ikatan tunggal (σ) dan ikatan rangkap (π). Ikatan tunggal (C-C) mempunyai panjang ikatan sebesar $1,54\text{\AA}$ sedangkan ikatan rangkap (C=C) panjang ikatannya sebesar $1,34\text{\AA}$. Apakah panjang ikatan antar atom C pada benzena menjadi dua macam? Ada yang sebesar $1,54\text{\AA}$ dan ada yang sebesar $1,34\text{\AA}$? Ternyata tidak demikian. Panjang ikatan antar atom C pada benzena hanya ada satu macam, yaitu sebesar $1,39\text{\AA}$. Artinya ikatan antar atom C pada benzena tidak ikatan tunggal ($1,54\text{\AA}$) tetapi juga tidak ikatan rangkap ($1,34\text{\AA}$).

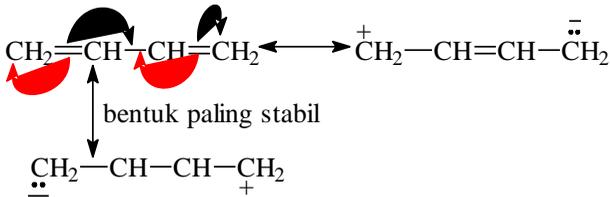
Dilihat kestabilannya, benzena tidaklah mempunyai struktur seperti pada Gambar 1.11. Perhatikan harga perubahan entalpi (ΔH) pada reaksi hidrogenasi sikloheksana dan benzena berikut.



b. Resonansi pada amino benzena (anilin).

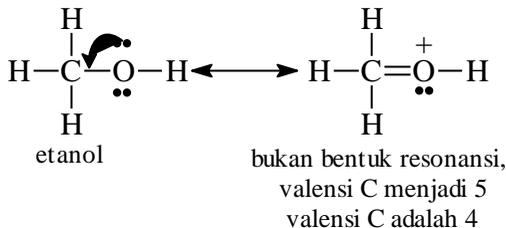


c. Resonansi pada 1,3-butadiena.



Bentuk-bentuk paling stabil di atas adalah bentuk resonansi dengan ikatan kovalen lebih banyak dan semua atomnya memenuhi hukum oktet (setiap atom mempunyai/dikelilingi delapan elektron).

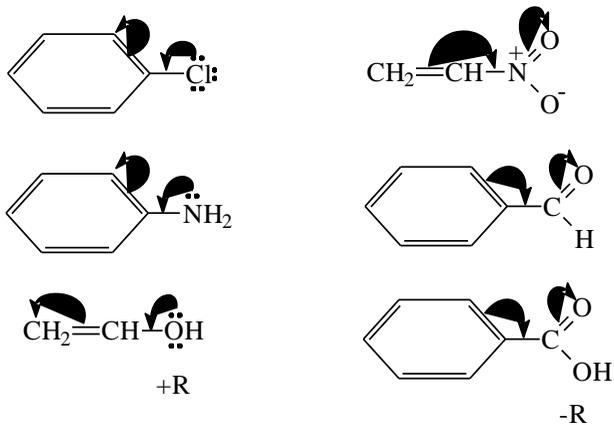
Molekul etanol mempunyai atom oksigen yang memiliki dua pasang elektron bebas. Apakah molekul etanol dapat mempunyai bentuk resonansi?



Dari uraian di atas dapat disusun konsep/definisi tentang proses resonansi. Resonansi adalah pergeseran/delokalisasi pasangan elektron pada orbital pi (π) dan atau pasangan elektron bebas di antara atom-atom yang berdampingan. Dengan adanya resonansi ini, struktur molekul dapat mempunyai bentuk-bentuk resonansi. Struktur molekul yang sesungguhnya adalah struktur di antara bentuk-bentuk resonansi yang terjadi (hibrida resonansi), makin banyak bentuk resonansinya makin stabil senyawanya.

Efek resonansi (R) disebut juga efek mesomeri (M). Seperti halnya efek induksi, efek resonansi juga terdiri dari efek resonansi positif (+R/+M) dan efek resonansi negatif (-R/-M).

Gugus/atom dikatakan mempunyai efek +R/+M jika arah pergeseran elektron menjauhi gugus/atom tersebut (gugus/atom memberikan elektron). Bila pergeseran elektronnya menuju gugus/atom (gugus/atom menarik elektron) maka gugus/atom tersebut mempunyai efek resonansi negatif (-R/-M).



Gambar 1.14.
Gugus dengan +R dan -R

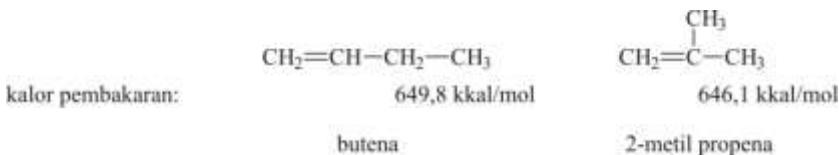
Berikut gugus-gugus yang memiliki +R dan -R.

Tabel 1.3.
Gugus dengan +R dan -R

+R	-R
-F	-C≡N
-Cl	-C=O
-Br	
-I	-NO ₂
-OH	
-OR	-SO ₂ H
-NH ₂	
-SR	

D. HIPERKONJUGASI

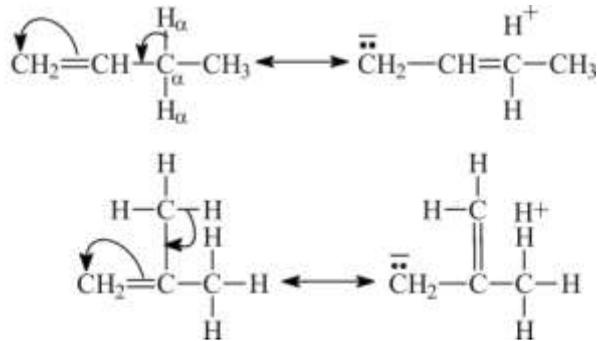
Dari data kalor pembakaran dua senyawa alkena di bawah ini, dapat diperkirakan perbandingan kestabilan kedua senyawa tersebut.



Jenis dan jumlah ikatan pada butena dan 2-metil propena adalah sama, tetapi kalor pembakaran 2-metil propena lebih kecil daripada kalor pembakaran butena. Berarti 2-metil propena lebih stabil daripada butena.

Faktor apa yang mempengaruhi perbedaan kestabilan kedua senyawa alkena di atas? Tentunya bukan efek resonansi, karena ikatan rangkap pada kedua senyawa alkena di atas tidak terkonjugasi dan tidak berdampingan dengan atom yang mempunyai pasangan elektron bebas. Perbedaan kestabilan pada kedua senyawa alkena di atas dapat dijelaskan dengan konsep hiperkonjugasi.

Menurut Baker dan Nathan (Asep K, 1995), ikatan C-H dan gugus alkil mempunyai sedikit kemampuan untuk melepaskan elektron seperti gugus tak jenuh.

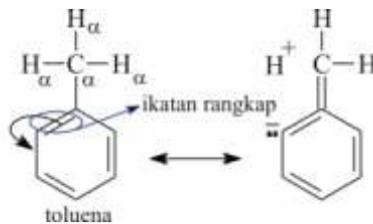


Gambar 1.15.
Hiperkonjugasi pada butena dan 2-metilpropena

Hiperkonjugasi di atas terjadi karena adanya delokalisasi elektron sigma (σ) antara C_{α} dan H_{α} . C_{α} adalah atom C yang berdampingan dengan C yang berikatan rangkap, sedangkan H_{α} adalah atom H yang terikat pada atom C_{α} .

Pada butena hanya terdapat 2 atom H_{α} yang mungkin mengalami hiperkonjugasi, sedangkan pada 2-metil propena terdapat 6 atom H_{α} . Makin banyak kemungkinan hiperkonjugasinya maka senyawa alkena semakin stabil.

Gugus alkil yang terdapat pada cincin aromatik juga dapat mengalami hiperkonjugasi.

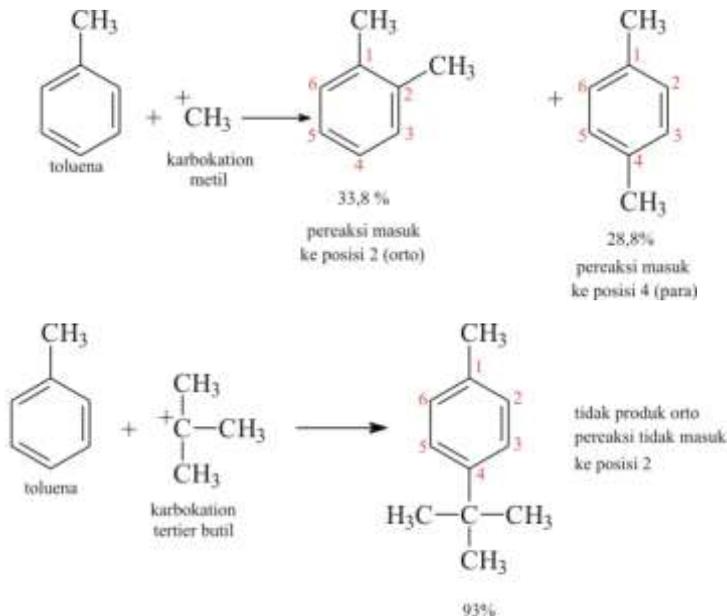


Gambar 1.16.
Hiperkonjugasi pada Toluena

Dari uraian di atas dapat disusun pengertian hiperkonjugasi yaitu *terdelokalisasinya elektron ikatan sigma antara atom C_{α} dengan H_{α} terhadap ikatan rangkap.*

E. EFEK RUANG (EFEK STERIK)

Pada reaksi toluena dengan suatu karbokation (pereaksi bermuatan positif pada atom karbonnya) seharusnya diperoleh dua hasil reaksi.



Perbedaan hasil reaksi pada dua reaksi di atas disebabkan karena keadaan ruang karbokationnya berbeda.

Karbokation tersier butil sangat ruah (menempati ruang yang luas), keadaan ruang ini menyebabkan karbokation ini sukar masuk ke posisi 2 (orto). Efek yang disebabkan keadaan ruang (keruahan) ini disebut efek ruang/efek sterik.

Jadi, efek ruang/sterik dapat dikatakan *efek yang disebabkan oleh perbedaan dalam ikatan atom-atom atau gugus dalam ruangnya*.

Efek ruang/sterik juga dapat mempengaruhi kebasaaan suatu senyawa amonia.



Dari harga pK_b dapat diketahui bahwa trimetil amina merupakan basa lebih lemah daripada dimetil amina. Bila dilihat jumlah gugus metil ($-\text{CH}_3$) yang mendorong elektron (+I), seharusnya trimetil amina merupakan basa lebih kuat daripada dimetil amina. Tetapi keadaan ruang trimetil amina yang lebih ruah menyulitkan trimetil amina untuk berinteraksi dengan spesi yang dapat menerima pasangan elektron bebasnya. Dengan adanya efek ruang/sterik ini menyebabkan kebasaaan trimetil tidak lebih kuat daripada dimetil amina.

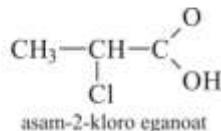
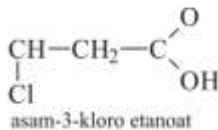
Efek ruang/sterik ada juga yang membantu menstabilkan suatu zat antara (karbokation). Hal ini disebut bantuan sterik dan akan dibahas pada Kegiatan Belajar 2.



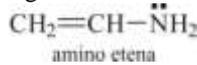
LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

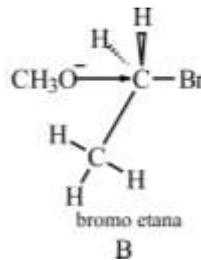
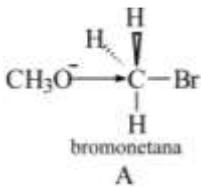
- 1) Gambarkan momen ikatan yang terjadi pada ikatan C-Br pada isomer geometri *cis* dan *trans* 1,2-dibromo etena!
- 2) Bandingkan harga momen dipol isomer geometri *cis* dan *trans* 1,2-dibromo etena di atas!
- 3) Suatu senyawa dinitro benzena mempunyai momen dipol tidak sama dengan nol! Tentukan struktur dinitro benzena tersebut!
- 4) Tentukan urutan besarnya harga pK_a asam-3-kloro etanoat dengan pK_a asam-2-kloro etanoat!



- 5) Gambarkan bentuk-bentuk resonansi dari amino etena dan tentukan bentuk resonansi yang paling stabil!



- 6) Tentukan jumlah hiperkonjugasi pada 3-heksena dan 3-metil-2-pentena!
 7) Dari kedua alkena pada nomor 6, manakah yang lebih stabil? Jelaskan!
 8) Dari reaksi antara berbagai alkil bromida dengan ion metoksida berikut, mana yang lebih sukar terjadi? Jelaskan!



Petunjuk Jawaban Latihan

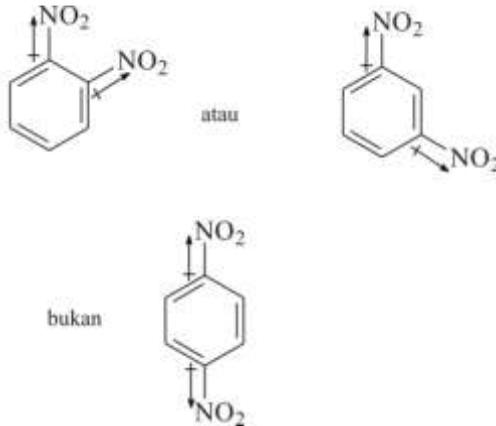
- 1)
- sis-1,2-dibromo etena

trans-1,2-dibromo etena

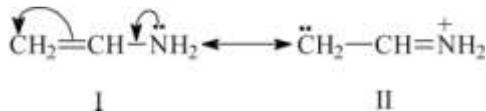
Momen ikatan digambarkan dari arah atom C ke arah atom Br, karena Br lebih elektronegatif sehingga C menjadi relatif positif dan Br relatif positif. Momen ikatan digambarkan dari atom bermuatan relatif positif ke atom bermuatan relatif negatif.

- 2) Momen dipol isomer cis merupakan hasil penjumlahan momen ikatan, sedangkan momen dipol isomer trans merupakan hasil pengurangan momen ikatan. Jadi, momen dipol isomer cis akan lebih besar daripada momen dipol isomer trans.
- 3) Gugus nitro merupakan gugus penarik elektron maka gugus ini akan relatif negatif, sedangkan C pada inti benzena yang mengikat gugus nitro akan relatif positif. Dengan demikian momen ikatan akan mempunyai arah dari C cincin benzena ke arah gugus nitro. Dua gugus nitro harus diletakkan sedemikian rupa agar arah momen ikatan tidak berlawanan,

agar jumlah momen ikatannya tidak nol. Jadi, struktur dinitro benzena ialah:

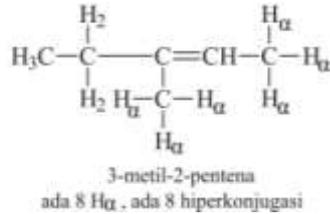
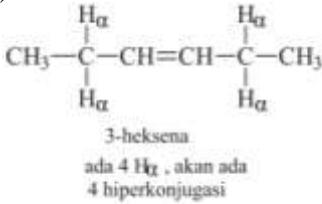


- 4) Cl mempunyai efek induksi menarik elektron karena Cl sangat elektronegatif, sehingga akan mempengaruhi kekuatan asam kedua asam tersebut atau mempengaruhi harga pK_a -nya, makin kuat asamnya, makin kecil pK_a -nya. Efek induksi bekerjanya dipengaruhi jarak, makin jauh letak Cl makin kecil pengaruhnya. Asam-2-kloro etanoat lebih kuat dari pada asam-3-kloro etanoat karena perbedaan letak Cl nya. Dengan demikian harga pK_a asam-2-kloro etanoat lebih kecil daripada pK_a asam-3-kloro etanoat.
- 5) $CH_2=CH-NH_2$ ada pasangan elektron bebas, NH_2 mempunyai +I maka bentuk- bentuk resonansinya:



Bentuk I lebih stabil karena mempunyai ikatan kovalen lebih banyak dan semua atomnya memenuhi hukum oktet.

6)



- 7) 3-metil-2-pentena lebih stabil karena hiperkonjugasinya lebih banyak.
8) Reaksi B lebih sukar terjadi karena adanya efek sterik dari alkil bromidanya yang lebih meruah.



RANGKUMAN

Kestabilan atau kereaktifan suatu senyawa karbon ditentukan oleh sifat intra molekuler senyawa tersebut.

Sifat intra molekuler senyawa karbon terdiri dari momen dipol, efek induksi, efek resonansi, hiperkonjugasi, dan efek sterik.

Efek induksi suatu gugus/atom ada yang berupa kemampuan gugus/atom mendorong elektron (+I) dan berupa kemampuan menarik elektron (-I).

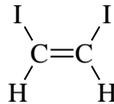
Efek resonansi terjadi karena adanya delokalisasi elektron ikatan pi (π). Bila delokalisasi elektron ikatan pi menjauh dari gugus terjadi efek resonansi positif (+R/+M), bila delokalisasi elektronnya menuju gugus maka efek resonansi negatif (-R/-M). Efek resonansi menyebabkan molekul senyawa mempunyai bentuk-bentuk resonansi/struktur resonansi. Struktur molekul yang sesungguhnya merupakan hibrida dari struktur-struktur resonansi mungkin terjadi. Delokalisasi elektron ikatan sigma (σ) menyebabkan terjadinya hiperkonjugasi. Keruah molekul senyawa karbon menyebabkan adanya efek sterik yang dapat mempengaruhi kereaktifan/ kestabilan senyawa karbon.



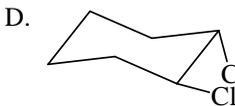
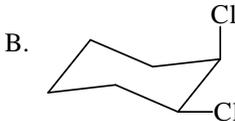
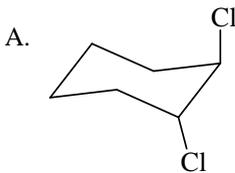
TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

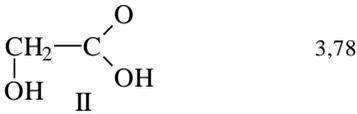
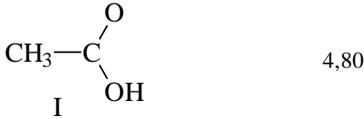
- 1) Harga momen dipol suatu senyawa karbon dengan struktur di bawah ini ialah



- A. nol, karena momen ikatan C-I saling meniadakan
 B. nol, karena momen dipolnya merupakan penjumlahan dari momen ikatan C-I
 C. lebih besar dari nol, karena momen dipolnya merupakan penjumlahan momen ikatan C-I
 D. lebih besar dari nol, karena momen ikatan C-I saling meniadakan
- 2) Senyawa 1,2-dikloro siklo heksana mempunyai harga momen dipol sama dengan nol, maka strukturnya adalah

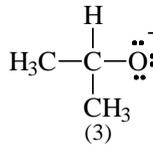
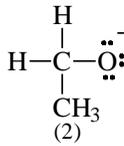
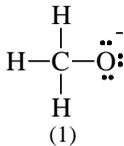


- 3) Perhatikan harga pK_a dua asam berikut:

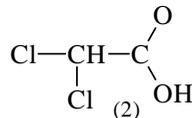
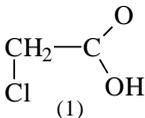


Berdasarkan harga pK_a di atas, efek induksi dari gugus OH adalah

- I, sehingga asam I lebih kuat daripada asam II
 - I, sehingga asam II lebih kuat daripada asam I
 - +I, sehingga asam I lebih kuat daripada asam II
 - +I, sehingga asam II lebih kuat daripada asam I
- 4) Dari basa Lewis berikut ini, basa yang paling kuat adalah:

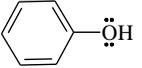


- basa 1, tidak mengandung gugus +I
 - basa 1, tidak mengandung gugus -I
 - basa 3, mengandung 2 gugus -I
 - basa 3, mengandung 2 gugus +I
- 5) Asam 2-kloro etanoat (1) dan asam 2,2-dikloro etanoat (2) mempunyai struktur sebagai berikut.

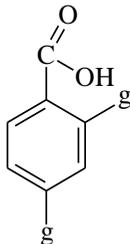


Kekuatan asam ke dua asam di atas menjadi

- asam (1) lebih kuat daripada asam (2), karena asam (2) mengandung 2 gugus +I.
- asam (1) lebih lemah daripada asam (2), karena asam (2) mengandung 2 gugus -I.

- C. asam (2) lebih kuat daripada asam (1), karena asam (2) mengandung 2 gugus $-I$.
- D. asam (2) lebih lemah daripada asam (1), karena asam (2) mengandung 2 gugus $+I$.
- 6) Pada fenol dengan struktur , OH merupakan gugus dengan kemampuan
- A. $+R$, karena pasangan elektron bebas pada O dapat bergeser ke inti benzena
- B. $-R$, karena pasangan elektron bebas pada O dapat bergeser ke inti benzena
- C. $+R$, karena pasangan elektron bebas pada O dapat bergeser ke H
- D. $-R$, karena pasangan elektron bebas pada O dapat bergeser ke H
- 7) Senyawa yang strukturnya mengalami resonansi akan makin stabil jika
- A. makin banyak struktur resonansinya, karena akan makin besar energi penstabilannya
- B. makin sedikit struktur resonansinya, karena akan makin kecil energi penstabilannya
- C. makin sedikit struktur resonansinya, karena makin sedikit pembagian muatannya
- D. makin banyak struktur resonansinya, karena akan makin banyak pembagian muatannya
- 8) Pada struktur 2-metil propana terdapat 6 hiperkonjugasi karena terdapat
- A. enam atom C_{α}
- B. enam atom H_{α}
- C. tiga atom C
- D. delapan atom H
- 9) Dilihat dari jumlah hiperkonjugasinya maka perbandingan kestabilan 2-pentena dengan 1-pentena adalah
- A. 1-pentena lebih stabil, karena lebih banyak hiperkonjugasinya
- B. 1-pentena lebih stabil, karena lebih sedikit hiperkonjugasinya
- C. 2-pentena lebih stabil, karena lebih sedikit hiperkonjugasinya
- D. 2-pentena lebih stabil, karena lebih banyak hiperkonjugasinya

- 10) Asam karboksilat dapat bereaksi dengan alkohol membentuk ester. Tetapi hasil eksperimen menunjukkan asam benzoat yang tersubstitusi posisi 2 dan 4 tidak dapat bereaksi dengan alkohol.



Hal di atas terjadi karena adanya pengaruh efek

- A. induksi dari g
- B. resonansi dari g
- C. hiperkonjugasi dari g
- D. sterik dari g

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

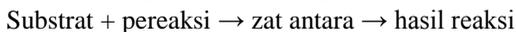
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Zat Antara dan Pereaksi dalam Reaksi Organik

A. ZAT ANTARA DALAM REAKSI ORGANIK

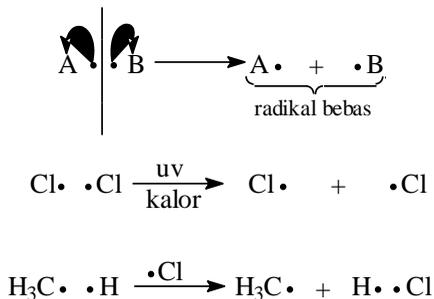
Reaksi organik dapat digambarkan sebagai berikut:



Substrat merupakan senyawa karbon yang ikatan antara atom-atomnya terputus dan kemudian terbentuk ikatan baru menghasilkan hasil reaksi. Ikatan antara atom dalam substrat terputus, lalu terbentuk zat antara yang sangat reaktif. Dengan segera zat antara bereaksi dengan pereaksi atau molekul yang terdapat dalam sistem reaksi untuk membentuk senyawa yang stabil (hasil reaksi).

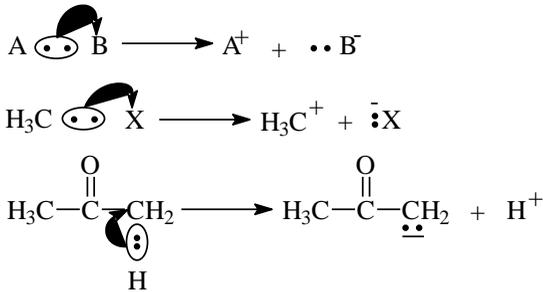
Bagaimana pemutusan ikatan yang terjadi dalam senyawa karbon saat mengalami suatu reaksi?

Ikatan dalam senyawa karbon dapat terputus secara homolitik atau secara heterolitik. Pada pemutusan homolitik, setiap atom hasil pemutusan membawa satu elektron dari pasangan elektron ikatan.



Gambar 1.17.
Pemutusan Ikatan secara Homolitik

Pada pemutusan heterolitik, pasangan elektron ikatan dibawa oleh salah satu gugus/atom hasil pemutusan.

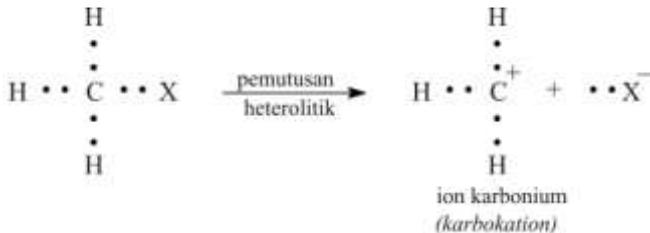


Gambar 1.18.
Pemutusan Ikatan secara Heterolitik

Zat antara yang terjadi dalam reaksi organik dapat berupa suatu radikal bebas, ion positif (karbokation/ion karbonium) dan ion negatif (ion karbon).

B. ION KARBONIUM (KARBOKATION)

Ion karbonium adalah suatu ion yang mengandung karbon yang bermuatan positif.



X lebih elektronegatif daripada C, sehingga pada pemutusan heterolitik, elektron ikatan berada di X.

Pada ion karbonium, atom C bermuatan positif dan hanya dikelilingi enam elektron. Hal ini menyebabkan ion karbonium sangat reaktif, dan cenderung untuk bereaksi dengan spesi lain hingga tercapai keadaan oktet atau keadaan stabil.

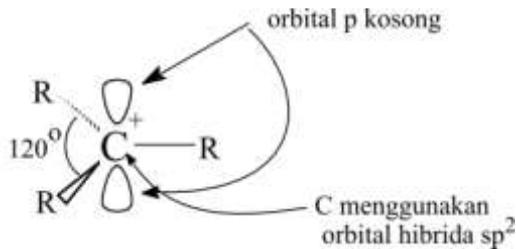
Berdasarkan jenis atom C yang bermuatan positif, ion karbonium dapat berupa ion karbonium metil, primer, sekunder, dan tersier.



Gambar 1.19.
Jenis Ion Karbonium

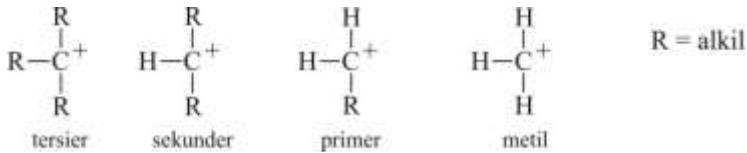
Apakah semua jenis ion karbonium mempunyai kestabilan yang sama? Untuk mempelajari kestabilan ion karbonium tersebut, haruslah dipahami dulu struktur ion karbonium tersebut.

Atom karbon pada ion karbonium mengikat tiga atom/gugus dan bermuatan positif. Atom C yang bermuatan positif tersebut menggunakan orbital hibrida sp^2 untuk mengikat tiga atom/gugus dan mempunyai orbital p yang kosong. Karena menggunakan orbital sp^2 , maka sudut ikatan pada ion karbonium adalah 120° dan bentuk geometrinya adalah segitiga planar/datar.



Gambar 1.20.
Struktur Ion Karbonium

Faktor apa saja yang dapat mempengaruhi kestabilan ion karbonium? Coba bandingkan struktur ion karbonium tersier, sekunder, primer, dan metil.



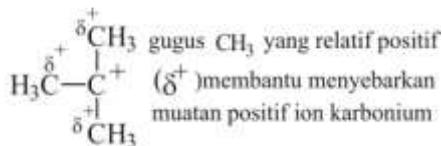
Gambar 1.21.

Struktur ion Karbonium Tersier, Sekunder, Primer, dan Metil

Gugus alkil (R) mempunyai kemampuan mendorong elektron (efek induksi positif/+I). Adanya efek induksi dari R ini membantu mengurangi kepositifan pada atom karbon ion karbonium.



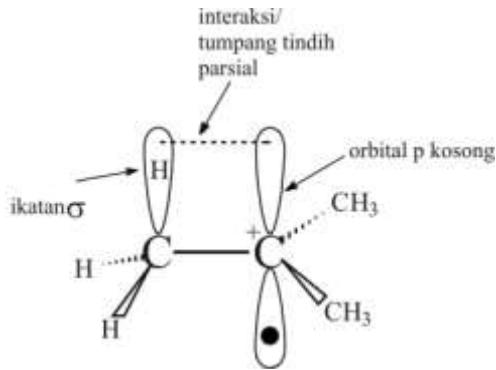
Efek induksi gugus R yang mendorong elektron menyebabkan gugus R menjadi relatif positif, keadaan ini membantu menyebarkan muatan positif pada ion karbonium.



Gambar 1.22.

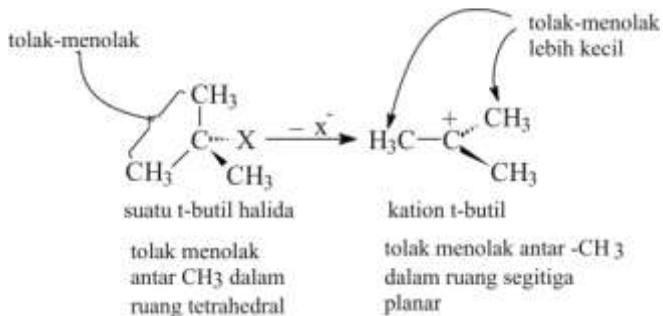
Penyebaran Muatan + pada Ion Karbonium Tersier

Seperti dijelaskan sebelumnya, atom karbon pada ion karbonium menggunakan orbital hibrida sp^2 dan mempunyai orbital p yang kosong. Bila atom C yang bermuatan positif (pada ion karbonium) mengikat alkil, maka akan terjadi tumpang tindih parsial orbital pada ikatan sigma (C-H pada alkil) dengan orbital p kosong pada ion karbonium. Adanya interaksi antar orbital tersebut membantu kestabilan ion karbonium. Interaksi di atas disebut hiperkonjugasi.



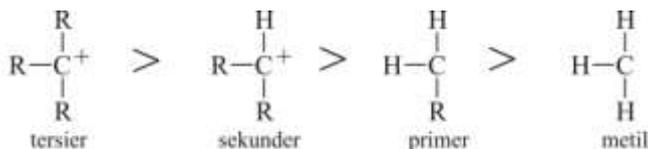
Gambar 1.23.
Interaksi/Tumpang Tindih Parsial sp²-S dengan p kosong

Faktor lain yang mempengaruhi kestabilan ion karbonium adalah bantuan sterik (*steric assistance*). Faktor ini berhubungan dengan bentuk geometri ion karbonium yang merupakan suatu segitiga planar dengan sudut ikatan 120°. Ion karbonium dapat berasal dari suatu alkil halida yang bentuk geometrinya adalah tetrahedral dengan sudut ikatan 109,28° (lebih kecil daripada 120°). Gugus-gugus dalam alkil halida tolak menolak sehingga energi alkil halida menjadi tinggi. Setelah menjadi ion karbonium, tolak menolak akan berkurang, karena bentuk geometri berubah dari tetrahedral menjadi segi tiga planar atau sudut ikatan antar gugus berubah dari 109,28° menjadi 120°. Keadaan sterik pada bentuk tetrahedral mendorong perubahan menjadi ion karbonium dengan bentuk segitiga planar.



Gambar 1.24.
Interaksi Gugus-gugus pada Alkil Halida dan Ion Karbonium

Dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan ion karbonium maka dapat dimengerti urutan kestabilan ion karbonium adalah:

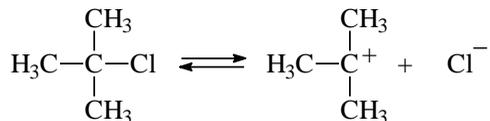


Gambar 1.25.
Urutan Kestabilan Ion Karbonium

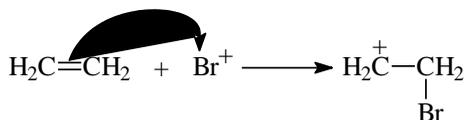
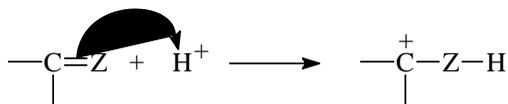
Ion karbonium tersier paling stabil. Mengapa demikian? Pada ion karbonium tersier terdapat paling banyak gugus alkil yang mendorong elektron, paling banyak terjadinya interaksi orbital ikatan sigma dengan orbital p kosong. Tolak menolak gugus alkil dalam alkil halida tersier paling banyak sehingga alkil halida tersier paling mudah berubah menjadi ion karbonium.

Ion karbonium dapat dihasilkan dari reaksi-reaksi berikut.

1. Ionisasi suatu alkil halida

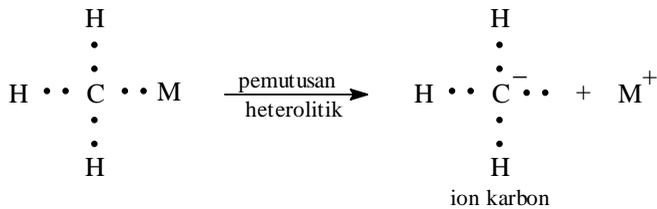


2. Reaksi antara proton atau ion positif dengan ikatan tak jenuh.



C. ION KARBON

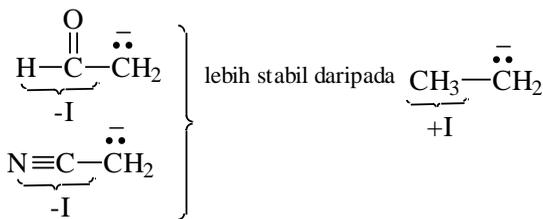
Ion karbon adalah suatu ion yang mengandung atom karbon yang bermuatan negatif.



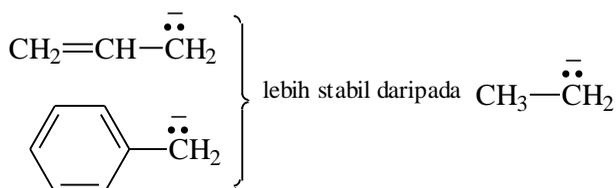
C lebih elektronegatif daripada M, maka pada pemutusan ikatan, elektron ikatan berada di atom C.

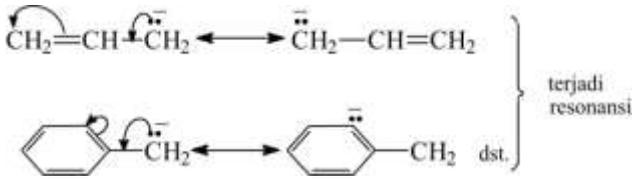
Pada ion karbon, atom C kelebihan elektron sehingga bermuatan negatif. Hal ini menyebabkan ion karbon menjadi reaktif dan cenderung untuk bereaksi dengan spesi lain untuk mencapai keadaan oktet/keadaan stabil.

Kestabilan ion karbon dipengaruhi efek induksi dan efek resonansi. Bila atom C bermuatan negatif pada ion karbon mengikat gugus penarik elektron (-I) maka ion karbonnya akan lebih stabil karena gugus dengan -I mengurangi kenegatifan atom karbon negatif, sebaliknya bila atom C bermuatan negatif mengikat gugus penolak elektron (+I) maka ion karbonnya menjadi lebih tidak stabil, karena gugus dengan +I menambah kenegatifan atom karbon.



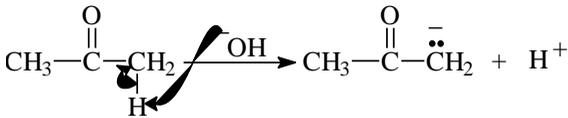
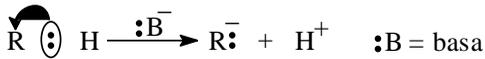
Faktor lain yang mempengaruhi kestabilan ion karbon adalah efek resonansi. Bila atom karbon bermuatan negatif pada ion karbon mengikat atom-atom dengan ikatan rangkap atau cincin benzena.



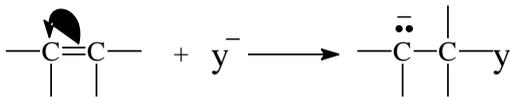


Prinsip reaksi yang dapat menghasilkan ion karbon adalah:

1. Gugus/atom yang terikat pada atom karbon terputus tanpa membawa elektron ikatan.

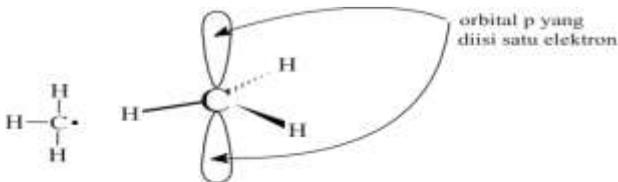


2. Reaksi antara ion negatif dengan ikatan rangkap antar atom C.



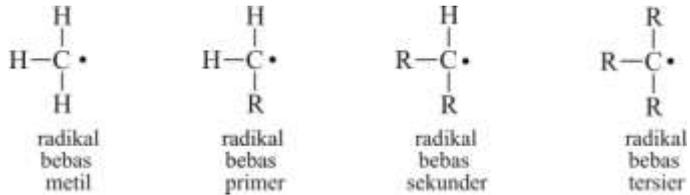
D. ZAT ANTARA RADIKAL BEBAS

Zat antara yang mengandung atom dengan satu elektron disebut zat antara radikal bebas.



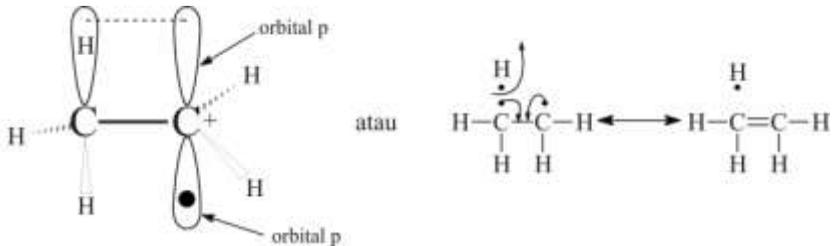
Gambar 1.26.
Struktur Radikal Metil

Berdasarkan jenis atom C yang mempunyai satu elektron bebas, antara radikal bebas dapat berupa radikal bebas metil, primer, sekunder, dan tersier.

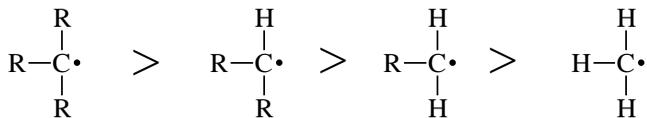


Gambar 1.27.
Struktur Berbagai Jenis Radikal

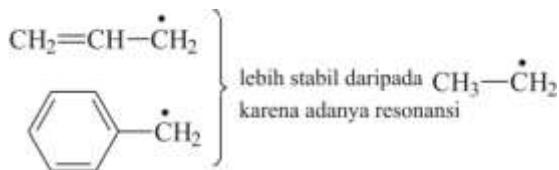
Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan zat antara radikal bebas adalah faktor hiperkonjugasi (inter aksi ikatan sigma dengan orbital p kosong) dan resonansi.



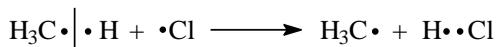
Makin banyak ikatan sigma di sebelah atom C dengan satu elektron bebas, makin banyak kemungkinan hiperkonjugasinya, maka makin stabil radikal bebasnya. Dengan demikian muatan kestabilan radikal bebas menjadi:



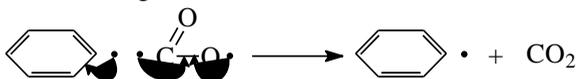
Dengan adanya kemungkinan resonansi, radikal bebas akan semakin stabil.



Zat antara radikal bebas dapat terbentuk dengan cara pemutusan ikatan secara homolitik. Pada umumnya pemutusan ikatan secara homolitik memerlukan energi. Radikal bebas dapat dihasilkan dari reaksi antara molekul netral dan penguraian suatu radikal bebas.



Reaksi radikal bebas dengan molekul netral.

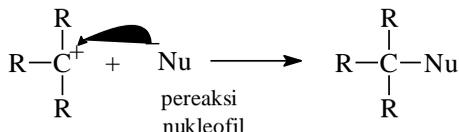


Penguraian suatu radikal bebas.

E. PEREAKSI DALAM REAKSI ORGANIK

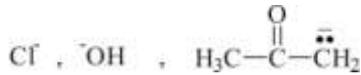
Dengan adanya pengaruh dari pereaksi dan kondisi reaksi, suatu substrat dapat mengalami pemutusan ikatan dan membentuk zat antara. Dari pemutusan ikatan secara heterolitik, substrat berubah menjadi ion karbonium atau ion karbon yang reaktif. Untuk mencapai kestabilan, ion karbonium atau ion karbon bereaksi dengan pereaksi dengan muatan tertentu. Pereaksi tersebut dapat diklasifikasi menjadi pereaksi nukleofil dan pereaksi elektrofil.

1. Pereaksi nukleofil

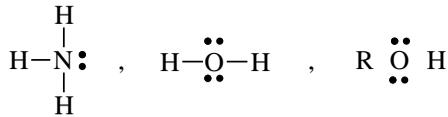


ion karbonium

Kata nukleofil berasal dari kata bahasa Inggris, *nucleophilic* yang terdiri dari kata *nucleo* (nucleus, bermuatan positif) dan *philic* (menyukai). Jadi reaksi nukleofil menyukai sesuatu yang bermuatan positif. Pereaksi nukleofil dapat berupa ion yang bermuatan negatif atau molekul netral yang mempunyai atom dengan pasangan elektron bebas.

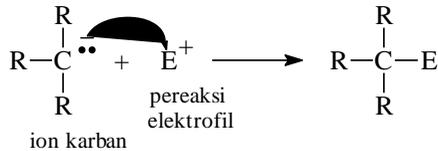


Nukleofil berupa ion negatif



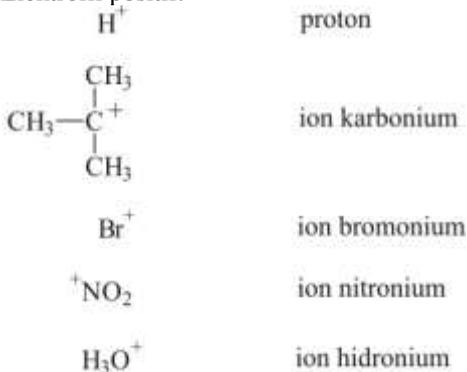
Nukleofil berupa molekul netral

2. Pereaksi elektrofil

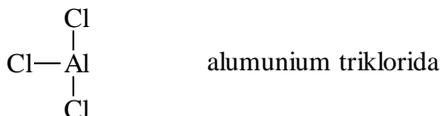
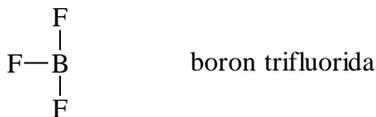


Kata elektrofil berasal dari kata bahasa Inggris *electrophilic* yang terdiri dari kata *electro* (electron, bermuatan negatif) dan *philic* (menyukai). Jadi, pereaksi elektrofil menyukai sesuatu yang bermuatan negatif. Pereaksi elektrofil dapat berupa ion positif atau molekul netral yang mengandung atom pusat dengan orbital kosong.

Elektrofil positif:



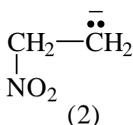
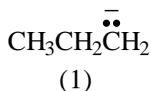
Elektrofil netral:



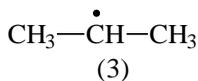
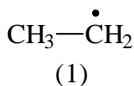
LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Gambarkan struktur ion karbonium primer, sekunder, dan tersier!
- 2) Jelaskan mengapa ion karbonium tersier lebih stabil daripada ion karbonium sekunder!
- 3) Tuliskan satu contoh reaksi yang menghasilkan ion karbonium!
- 4) Dari ion karbon di bawah ini, tentukan yang paling stabil! Jelaskan!

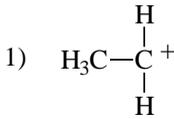


- 5) Tuliskan satu contoh reaksi yang menghasilkan radikal bebas!
- 6) Tentukan urutan kestabilan radikal bebas di bawah ini!

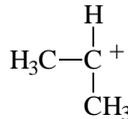


- 7) Berikan dua contoh elektrofil bermuatan dan dua contoh elektrofil netral!
- 8) Berikan dua contoh nukleofil netral dan dua contoh nukleofil bermuatan!

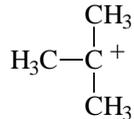
Petunjuk Jawaban Latihan



ion karbonium
primer

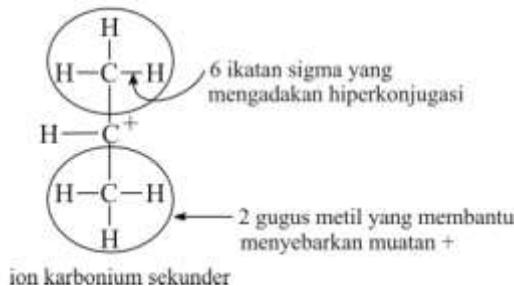
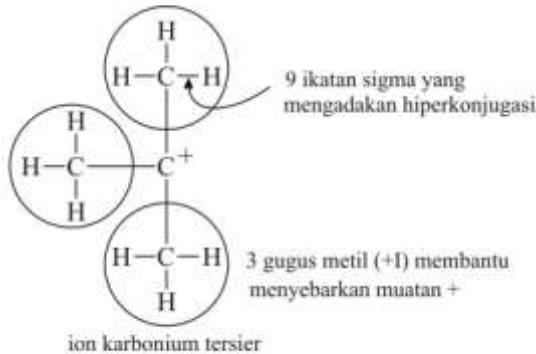


ion karbonium
sekunder

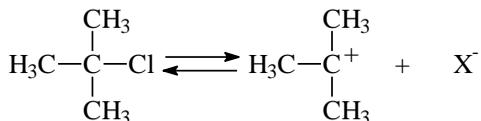
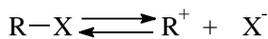


ion karbonium
tersier

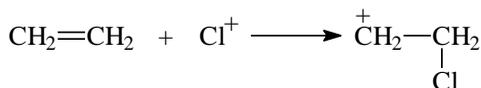
- 2) Ion karbonium tersier lebih stabil daripada ion karbonium sekunder karena pada ion karbonium tersier terdapat lebih banyak gugus alkil yang membantu menyebarkan muatan positif dan terdapat lebih banyak kemungkinan hiperkonjugasi ikatan sigma pada atom C yang bersebelahan dengan atom C bermuatan positif.



- 3) Reaksi yang menghasilkan ion karbonium.



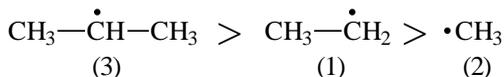
atau



- 4) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\overset{\ominus}{\text{C}}\text{H}_2$ (1) dan $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\overset{\ominus}{\text{C}}\text{H}_2 \\ | \\ \text{NO}_2 \end{array}$ (2)

Ion karbon (2) lebih stabil, karena mengandung gugus $-\text{NO}_2$ yang merupakan penarik elektron (-I) sehingga muatan negatif pada atom C dapat berkurang.

- 5) Urutan kestabilan radikal bebas.



Radikal bebas (3) paling stabil karena paling banyak ikatan sigma pada atom C yang berdampingan dengan atom C dengan satu elektron bebas. Makin banyak ikatan sigma tersebut, makin banyak hiperkonjugasinya, makin stabil radikal bebasnya.

- 6) Contoh elektrofil bermuatan: $^+\text{CH}_3$ dan Cl^+ atau R^+ dan X^+ .

Contoh elektrofil netral: BF_3 dan AlCl_3 .

- 7) Contoh nukleofil netral: $\text{H}_2\ddot{\text{O}}:$ dan $\ddot{\text{N}}\text{H}_3$

Contoh nukleofil bermuatan: ^-OH dan Cl^-



RANGKUMAN

Zat antara dalam reaksi organik dapat berupa ion karbonium, ion karbon, dan radikal bebas.

Kestabilan ion karbonium dipengaruhi oleh efek induksi, efek hiperkonjugasi, dan bantuan sterik. Kestabilan ion karbon dipengaruhi oleh efek induksi dan efek resonansi. Sedangkan kestabilan radikal bebas dipengaruhi oleh hiperkonjugasi dan resonansi.

Pereaksi dalam reaksi organik berupa pereaksi nukleofil dan pereaksi elektrofil. Pereaksi nukleofil terdiri dari nukleofil negatif dan nukleofil netral. Pereaksi elektrofil terdiri dari elektrofil bermuatan positif dan elektrofil netral.



TES FORMATIF 2

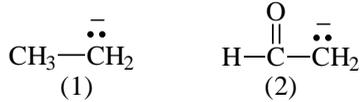
Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Urutan kestabilan ion karbonium mulai dari yang paling stabil adalah ion karbonium
 - A. metil, primer, sekunder, tersier
 - B. primer, sekunder, tersier, metil
 - C. tersier, sekunder, primer, metil
 - D. metil, tersier, sekunder, primer

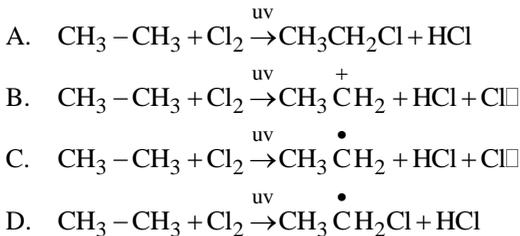
- 2) Dari reaksi-reaksi di bawah ini, reaksi yang menghasilkan ion karbonium adalah
 - A. $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Cl}^- \rightarrow \text{CH}_2-\overset{-}{\text{C}}\text{H}_2\text{Cl}$
 - B. $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Cl}^+ \rightarrow \text{CH}_2-\text{CH}_2\text{Cl}$
 - C. $\text{CH}_3\text{Cl} \square \overset{-}{\text{C}}\text{H}_3 + \text{Cl}^+$
 - D. $\text{CH}_3\text{Cl} \square \overset{+}{\text{C}}\text{H}_3 + \text{Cl}^-$

- 3) Kestabilan ion karbonium dipengaruhi oleh 3 faktor berikut
 - A. induksi, resonansi, dan halangan sterik
 - B. induksi, bantuan sterik, dan hiperkonjugasi
 - C. induksi, halangan sterik, dan hiperkonjugasi
 - D. induksi, resonansi, dan hiperkonjugasi

- 4) Dilihat dari struktur dua ion karbon di bawah ini, maka ion karbon yang lebih stabil adalah



- A. (2) terdapat gugus penarik elektron, muatan negatif pada C berkurang
 B. (2) terdapat gugus penolak elektron, muatan negatif pada C bertambah
 C. terdapat gugus penarik elektron, muatan negatif pada C berkurang
 D. terdapat gugus penolak elektron, muatan negatif pada C bertambah
- 5) Urutan kestabilan radikal bebas etil, radikal bebas isopropil, dan radikal bebas metil adalah radikal bebas
- A. etil > metil > isopropil
 B. metil > etil > isopropil
 C. isopropil > metil > etil
 D. isopropil > etil > metil
- 6) Dari reaksi di bawah ini reaksi yang menghasilkan radikal bebas etil adalah



- 7) Faktor yang mempengaruhi kestabilan radikal bebas adalah
- A. resonansi dan hiperkonjugasi
 B. resonansi dan induksi
 C. induksi dan bantuan sterik
 D. hiperkonjugasi dan bantuan sterik
- 8) Molekul H₂O dapat bertindak sebagai pereaksi nukleofil, karena
- A. adanya pasangan elektron bebas pada atom O
 B. adanya orbital kosong pada atom O
 C. adanya pembagian muatan pada molekul H₂O
 D. molekul H₂O merupakan molekul netral

- 9) Kelompok pereaksi yang terdiri dari pereaksi elektrofil adalah
- A. $\text{BF}_3, \text{BR}^+, \text{NH}_3$
- B. $\text{ROH}, \text{BF}_3, \text{BR}^+$
- C. $^+\text{NO}_2, \text{AlCl}_3, \text{H}_3\text{O}^+$
- D. $\text{H}_3\text{O}^+, \text{NH}_3, \text{Cl}^+$
- 10) Ion karbonium dapat bertindak sebagai pereaksi
- A. nukleofil, karena bermuatan positif
- B. nukleofil, karena bermuatan negatif
- C. elektrofil, karena bermuatan negatif
- D. elektrofil, karena bermuatan positif

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

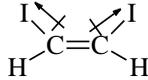
70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

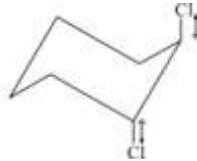
Kunci Jawaban Tes Formatif

- 1) C. Momen ikatan dalam senyawanya digambarkan



Momen dipolnya adalah hasil **penjumlahan** momen ikatan maka harga momen dipol tersebut **lebih besar dari nol**.

- 2) A. Agar momen dipolnya sama dengan nol, maka momen ikatan yang terjadi pada struktur 1,2-dikloroheksana harus saling meniadakan. Jadi, strukturnya adalah:

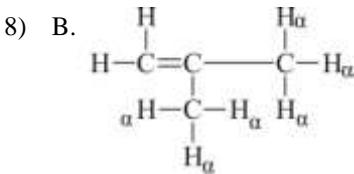


- 3) B. pKa asam II lebih kecil daripada pKa asam I, artinya asam II lebih kuat daripada asam I. Hal tersebut dapat terjadi kalau C pada $\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ lebih relatif positif. Atom C tersebut dapat relatif positif kalau ada pengaruh gugus yang dapat menarik elektron. Jadi gugus OH pada asam II mempunyai kemampuan menarik elektron atau $-I$.
- 4) D. Basa 3 mengandung dua gugus dengan $+I$ (menolak elektron) sehingga pasangan elektron pada atom N pada basa 3 lebih rendah didonorkan.
- 5) C. Asam (2) mempunyai dua atom dengan kemampuan menarik

elektron ($-I$), sehingga atom C (pada $\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$) relatif lebih positif dibandingkan dengan atom C pada asam (1). Karena atom C (pada

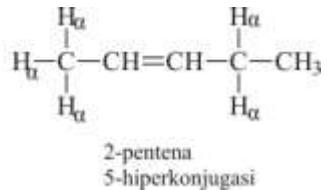
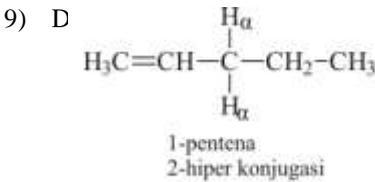
$\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$) nya relatif lebih positif maka atom H pada $\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ lebih mudah lepas sebagai H^+ , sehingga asamnya lebih kuat.

- 6) A. Atom O pada gugus $-\text{OH}$ (pada struktur fenol) mempunyai pasangan elektron bebas yang dapat terdelokalisasi ke arah inti (cincin) benzena, maka efek resonansi $-\text{OH}$ adalah $+R$.
- 7) A. Makin banyak struktur resonansi suatu senyawa, berarti makin besar energi penstabilannya, maka senyawanya makin stabil.



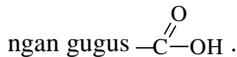
Terdapat enam atom H_α, maka ada enam struktur hiperkonjugasi.

2-metil propena



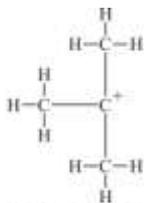
2-pentena lebih stabil karena lebih banyak hiperkonjugasi. Makin banyak kemungkinan struktur hiperkonjugasi, senyawanya makin stabil

10) D. Efek yang berpengaruh adalah efek sterik dari gugus g, sehingga molekul alkohol sukar mengadakan reaksi/membentuk ikatan de-



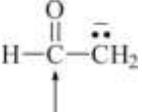
Tes Formatif 2

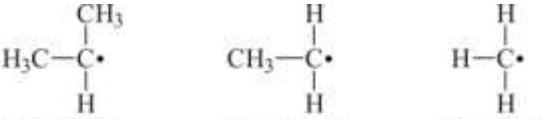
1) C. Urutan kestabilan ion karbonium mulai dari yang paling stabil adalah ion karbonium tersier, sekunder, primer, dan metil. Pada ion karbonium tersier terdapat paling banyak faktor yang menstabilkan ion karbonium yaitu efek induksi dari gugus alkil, efek hiperkonjugasi dari ikatan sigma yang berdampingan dengan C⁺ dan bantuan sterik.



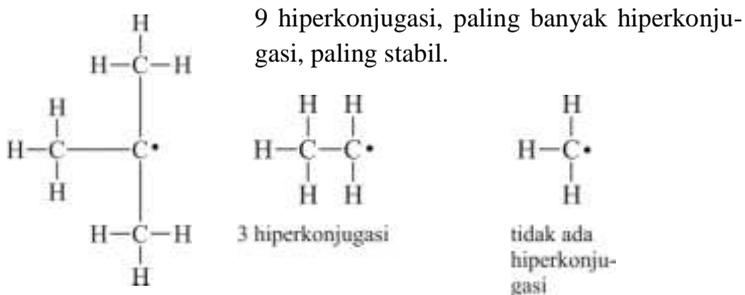
Ion karbonium tersier

- a) terdapat tiga gugus metil dengan +I;
- b) terdapat sembilan hiperkonjugasi;
- c) bantuan sterik yang berawal dari tolak menolak antara tiga gugus metil.

- 2) D. $\text{CH}_3\text{Cl} \rightleftharpoons {}^+\text{CH}_3 + \text{Cl}^-$ Pada reaksi ini dihasilkan ion ${}^+\text{CH}_3$ yang merupakan ion karbonium.
- 3) B. Faktor yang mempengaruhi kestabilan ion karbonium adalah efek:
- Induksi, efek induksi positif dari alkil membantu menyebarkan muatan positif ion karbonium.
 - Bantuan sterik, tolak menolak gugus alkil pada senyawa Rx (sebelum menjadi ion karbonium, dengan bentuk tetra hedral) membuat Rx berenergi tinggi. Pada ion karbonium bentuk segitiga planar, tolak menolak gugus alkil berkurang sehingga ion karbonium menjadi stabil.
 - Hiperkonjugasi, terjadi karena adanya interaksi orbital pada ikatan sigma (C-H) yang bersebelahan dengan atom C^+ . Hiperkonjugasi ini menstabilkan ion karbonium.
- 4) A.  Gugus karbonil, menarik elektron sehingga muatan negatif pada ion karbonnya berkurang, sehingga ion karbonnya stabil.

- 5) D. 
- radikal bebas isopropil radikal bebas etil radikal bebas metil

Kestabilan radikal bebas dipengaruhi oleh efek hiperkonjugasi, makin banyak hiperkonjugasi, makin stabil radikal bebasnya.



- 6) C. $\text{CH}_3 - \text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2 + \text{HCl} + \text{Cl}\cdot$
- radikal bebas etil

- 7) A. Faktor yang mempengaruhi kestabilan radikal bebas adalah resonansi dan hiperkonjugasi. Makin banyak bentuk (struktur) resonansi/hiperkonjugasi, radikal bebasnya makin stabil.
- 8) A. $\begin{array}{c} \bullet\bullet \\ | \\ \text{H}-\text{O}-\text{H} \\ | \\ \bullet\bullet \end{array}$ Struktur H_2O berinteraksi dengan pusat reaksi (atom C) bermuatan positif, maka H_2O merupakan suatu nukleofil (menyenangi sesuatu yang bermuatan positif).
- 9) C. Elektrofil menyukai sesuatu yang bermuatan negatif, elektrofilya bermuatan positif atau mengandung atom yang kekurangan elektron. Maka kelompok elektrofil:
 $+\text{NO}_2$, N bermuatan positif
 AlCl_3 , atom Al mempunyai orbital yang kekurangan elektron
 H_3O^+ , O bermuatan +.
- 10) D. Ion karbonium adalah ion yang mengandung atom C bermuatan positif, maka ion karbonium merupakan pereaksi elektrofil.

Glosarium

- Efek induksi : kemampuan suatu gugus/atom yang terikat dalam suatu molekul untuk menolak atau menarik elektron, dibandingkan dengan atom hidrogen dalam molekul yang sama sehingga terjadi polarisasi ikatan.
- Efek ruang/sterik : efek yang disebabkan oleh perbedaan dalam ikatan atom-atom atau gugus dalam ruangnya.
- Hiperkonjugsi : terdelokasinya elektron ikatan sigma antara atom C_{α} dengan H_{α} terhadap ikatan rangkap
- Ion karbon : suatu ion yang mengandung atom karbon yang bermuatan negatif
- Ion karbonium : suatu ion yang mengandung atom karbon yang bermuatan positif
- Momen dipol : hasil kali muatan (q) dengan jarak (d) antara kedua pusat muatan positif dan negatif.
- Resonansi : pergeseran/delokalisasi pasangan elektron pada orbital pi (π) dan atau pasangan elektron bebas di antara atom-atom yang berdampingan

Daftar Pustaka

- Asep Kadarohman. (1995). *Struktur Molekul Senyawa Organik*. Bandung: Jurusan Pendidikan Kimia, FPMIPA, IKIP Bandung.
- Eliel, Ernest. (1962). *Stereo Chemistry of Carbon Compound*. New Delhi: McGraw Hill.
- Fesenden, Ralph J & Joan S. Fesenden. (1983). *Kimia Organik I*. Terjemahan A Hadyana P. Jakarta: Erlangga.
- March, J. (1990). *Advanced Organic Chemistry: Mechanism and Structure*. Kogakusha: Mc Graw-Hill.
- Solomon & Fryhle. (2004). *Organic Chemistry*. Singapore: John Willey & Sons.